

# Problemy związane z wykorzystaniem odnawialnych źródeł do produkcji energii elektrycznej

Data wpłynięcia do Redakcji: 04/2024  
Data akceptacji przez Redakcję do publikacji: 05/2024

2024, volume 13, issue 2, pp. 41-48

**Joachim Koziół**  
Emerytowany profesor  
Poland



**Streszczenie:** Określono warunki techniczne wykorzystania energii słonecznej, wiatrowej, wodnej i biologicznej do produkcji energii elektrycznej. Wskazano na sposoby niwelowania nadmiarów i niedoborów energii pochodzącej z losowych źródeł odnawialnych takich jak: magazynowanie energii, układy elektrowni oraz przez energetykę prosumenską. Omówiono negatywne skutki wykorzystania poszczególnych OZE. Zwrócono uwagę na wpływ scenariuszy mikśów elektroenergetycznych na krajowe bezpieczeństwo energetyczne.

**Słowa kluczowe:** odnawialne źródła energii, techniczne warunki i negatywne skutki wykorzystania, magazynowanie energii, bezpieczeństwo energetyczne

## WSTĘP

Odpowiedzialne podejmowanie się realizacji jakichkolwiek zadań wymaga dysponowania wyczerpującymi informacjami dotyczącymi, nie tylko, ich pozytywnych efektów, ale w równej, a nawet w większej mierze, znajomości związanych z tymi działaniami zagrożeń oraz ograniczeń.

W niniejszym opracowaniu starano się zwrócić uwagę na powyższe problemy w odniesieniu do wykorzystania odnawialnych źródeł energii (OZE) do produkcji energii elektrycznej.

Podejmowanie decyzji dotyczących przyszłych scenariuszy krajowej produkcji energii elektrycznej jest szczególnie istotne ze względu na ich wpływ na jakość życia współczesnego i przyszłego społeczeństwa.

## TECHNICZNE ASPEKTY WYKORZYSTANIA OZE

### Parametry techniczne i warunki zabudowy paneli fotowoltaicznych

Najważniejszymi czynnikami wpływającymi na wydajność ogniw fotowoltaicznych są: promieniowanie słoneczne, moc, zacienienie, kierunek ustawienia, usłonecznienie (liczba godzin słonecznych w roku), kąt nachylenia.

Średnie promieniowanie w Polsce wynosi 800-900 W/m<sup>2</sup>. Moc nominalną paneli określa się dla warunków standardowych: przy promieniowaniu słonecznym wynoszącym 1000 W/m<sup>2</sup> oraz temperaturze 25°C. Moc nominalna większości dostępnych paneli wynosi 300-450 W. W warunkach polskich można z nich

uzyskać moc 255-283 W [1]. Nowe – 450 watowe panele mają powierzchnię 2,5 m<sup>2</sup>, przy wadze wynoszącej około 300 N. Preferowany jest południowy kierunek usytuowania paneli. Średnie usłonecznienie w Polsce pozwala, w ciągu roku, uzyskać z paneli o nominalnej mocy 1 kW, około 1,1 MWh energii elektrycznej [2]. Kąt nachylenia paneli powinien wynosić około 35°.

Największa farma fotowoltaiczna w Polsce, o mocy około 200 MW, ma powstać w Zwartowie. Ma ona obejmować obszar około 300 ha [3].

### **Parametry techniczne i warunki zabudowy farm wiatrowych**

Turbiny wiatrowe są zazwyczaj usytuowana na wieżach o wysokości przekraczającej 100 m [4]. Moce nowoczesnych, morskich, turbin wiatrowych dochodzą do 8 MW, a turbin lądowych do 3 MW [12]. Śmigła wiatraków (łopaty) mają długość zależną od mocy turbiny. W wiatrakach o mocy 1 MW wynoszą one 40 m, zaś o mocy 6 MW – od 65 do 80 m [5]. Śmigła są wykonane z polimerów zbrojonych włóknami szklanymi i/lub węglowymi i są wzmacniane żywicą epoksydową. Wiatraki o mocy 1 MW ważą (bez fundamentów) około 3100 MN. Sama wieża waży około 2700 MN. Turbiny wiatrowe wraz drogami dojazdowymi zajmują nie więcej niż 1% powierzchni typowego parku powietrznego. Reszta powierzchni nadaje się do wykorzystania pod uprawy rolne. Odległość między poszczególnymi wiatrakami powinna wynosić od 5 do 8 średnic śmigła [5]. Morskie elektrownie wiatrowe buduje się w odległości od lądu wynoszącej 20 km i głębokości dna morskiego do 20 m. W przyszłości przewiduje się stosowanie znacznie wyższych wartości tych parametrów [6].

Turbiny wiatrowe rozpoczynają pracę przy prędkości wiatru 1-2 m/s. Nominalną moc turbina wiatrowa osiąga przy prędkości wiatru wynoszącej 10 m/s. Elektrownie wiatrowe pracują rocznie przez (1500-2000) godz. (konwencjonalne elektrownie pracują co najmniej 3 razy dłużej). Średni wskaźnik wykorzystania mocy w polskich elektrowniach wiatrowych wynosi około 30% [6].

Odległość elektrowni wiatrowej od zabudowań powinna co najmniej [7] wynosić 700 m, być większa niż dziesięciokrotność wysokości turbiny, zapewnić nieprzekroczenie normy 40 dB.

W odniesieniu do rezerwatów przyrody odległość powinna wynosić co najmniej 500 m [6].

### **Parametry techniczne uzyskiwania i wykorzystania biomasy**

Biomasę stanowią surowce organiczne pochodzenia roślinnego (zboża, buraki cukrowe, trzcina cukrowa, rzepak, słonecznik, kukurydzę) i zwierzęcego (skóra, odpady poubojowe, rogi, wełna) jak i otrzymane w wyniku ich przerobu produkty takie jak: drewno, słoma, gnojowica, obornik, osady ściekowe, wybrane pozostałości pochodzące z przemysłu spożywczego, odpady komunalne.

Z biomasy uzyskuje się paliwa stałe, ciekłe i gazowe. Do przemysłowej produkcji energii elektrycznej w Polsce wykorzystuje się, głównie, stałą biomasę

uzyskiwaną z upraw tzw. roślin energetycznych oraz odpadów z gospodarki leśnej i rolnej.

W polskich warunkach za najkorzystniejsze uważa się uprawy drzew i krzewów [8]: wierzby, topoli, robinii akacjowej, róży wielokwiatowej, trawy: miskantu, trzciny, spartiny preriowej oraz byliny.

Zbiór drewna z upraw jest przeprowadzany co trzy lata. Z jednego ha można uzyskać (10-15) Mg suchej masy. Plantację można użytkować przez 25 lat [9]. Ogólnie z terenów leśnych można uzyskać (3-5) Mg/ha, zaś z upraw (15-30) Mg/ha suchej biomasy [10].

Wartość opałowa stałej biomasy zależy od jej rodzaju oraz zawartości wilgoci i wynosi (dla suchej masy): drewna (11-22) MJ/kg, zboża (15-17) MJ/kg, słomy (14-15) MJ/kg [11]. Stała biomasa, wykorzystywana do produkcji energii elektrycznej, jest spalana lub współspalana w kotłach energetycznych.

Biopaliwa ciekłe uzyskuje się z roślin oleistych (biodiesle) oraz z roślin bogatych w węglowodany (alkohole).

Z kolei biopaliwa gazowe uzyskiwane są w wyniku beztlenowej fermentacji substancji (najczęściej odpadów) pochodzenia organicznego (biogaz) lub przez odgazowanie i zgazowanie stałej biomasy (gaz generatorowy np. gaz drzewny). Uzysk biogazu zależy od wykorzystywanego surowca np.: z kiszonki wynosi (170-190) m<sup>3</sup>/Mg, ze zboża (500-600) m<sup>3</sup>/Mg, z odpadów kurzych 100 m<sup>3</sup>/Mg, z obornika 60 m<sup>3</sup>/Mg, z gnojowicy (15-30) m<sup>3</sup>/Mg [9].

Użytki rolne w Polsce obejmują obszar 16,18 mln ha, w tym 0,43 mln ha stanowią odłogi i ugory [12]. Przewiduje się, że pod uprawy roślin energetycznych będzie można wykorzystać około 4 mln ha (2 mln ha przeliczeniowych) [13], w tym również odłogi, ugory oraz tereny uzyskane przez rekultywację terenów poprzemysłowych.

### **Charakterystyka polskiej hydroenergetyki**

Całkowity potencjał hydroenergetyczny w Polsce wynosi 12,2 GW. Sumaryczna moc, aktualnie wykorzystywanych, elektrowni wodnych wynosi 2042 MW, w tym moc elektrowni szczytowo-pompowych wynosi 1360 MW [14].

W Polsce istnieją około 800 elektrowni wodnych. Jednak tylko 18 z nich ma moc większą od 5 MW. Największe wodne elektrownie to [14]: Żarnowiec o mocy 716 MW, Porąbka-Żar o mocy 500 MW, Solina-Myszkowice o mocy 200 MW, Włocławek o mocy 162 MW oraz Żydowo o mocy 150 MW.

Wszystkie, wcześniej, wymienione elektrownie mają charakter szczytowo-pompowy (vide pkt. 3.).

Za przyszłościowe rejony rozwoju energetyki wodnej uważa się: Mazury, Pomorze, Sudety i Karpaty.

## SPOSOBY NIWELOWANIA NADMIARU I NIEDOBORÓW ENERGII POCHODZĄCEJ Z LOSOWYCH ŹRÓDEŁ ENERGII ODNAWIALNEJ

Wydajność produkcji energii elektrycznej wytwarzanej w oparciu o energię słoneczną i wiatrową zależy od warunków metrologicznych. Dlatego, podobnie jak warunki metrologiczne, ma ona charakter losowy. Przy dostosowywaniu produkcji tej energii do jej zapotrzebowania, mającego z kolei charakter probabilistyczny, występują nadmiary i niedobory energii. Skutecznie zaradzić temu zjawisku może magazynowanie energii. Istnieje szereg sposobów magazynowania energii. Kilka z nich przedstawiono, łącznie z charakterystyką techniczną, w tab. 1.

Innym sposobem niwelowania nadmiarów i niedoborów energii jest stosowanie układów elektrowni: słoneczno-wiatrowych, słoneczno-konwencjonalnych, wiatrowo-konwencjonalnych oraz wiatrowo-słoneczno-konwencjonalnych.

Poprawie polskiej gospodarki elektroenergetycznej powinno służyć szersze zastępowanie zawodowej energetyki wielkoskalowej przez małoskalową energetykę rozproszoną. Polega ona na instalowaniu licznych elektrowni, małej mocy, wykorzystujących lokalne zasoby OZE, w pobliżu użytkowników wyprodukowanej energii. Praktycznie rzecz biorąc, producent jest zarazem odbiorcą energii. W takim przypadku niwelowaniu nadmiarów i niedoborów energii sprzyja stosowanie energetyki prosumentskiej, opartej o bezpośrednią współpracę producenta (prosumenta) energii z siecią (dystrybutorem) do której, można odsprzedać nadmiar wytworzonej energii i od której, można kupić energię w przypadku jej niedoboru.

**Tabela 1 Charakterystyka techniczna wybranych sposobów magazynowania energii**

Sposób magazynowania	Moc zainstalowana w systemie elektroenergetycznym	Sprawność %	Czas rozładowania	Liczba cykli (trwałość)
Koło zamachowe szybkoobrotowe	< 10 kW	92-95	minuty	(1, 5) 10 <sup>4</sup> (15-20 lat)
Koło zamachowe wolnoobrotowe	[10, 800] kW		sekundy	
Akumulatory ołowiowo-kwasowe	< 50 MW	72-75	godziny	<10 <sup>3</sup> (5-20 lat)
Akumulatory siarczkowo-sodowe	[100, 5000] kW	85-90	godziny	(2, 5) 10 <sup>3</sup> (10-20 lat)
Akumulatory przepływowe	[0,1, 5] MW	72-88	godziny	(1, 5) 10 <sup>3</sup>
Magazynowanie w powietrzu sprężonym	> 100 MW	67-75	godziny	(1, 5) 10 <sup>4</sup> (20-40 lat)
Elektrownie szczytowo-pompowe	> 50 MW	75-85	godziny	(1, 8) 10 <sup>4</sup> (30-60 lat)
Nadprzewodnikowe zasobniki energii	[10, 100] MW	95	sekundy	>10 <sup>5</sup>

Źródło: Opracowanie na podstawie [15, 16].

## NEGATYWNE SKUTKI WYKORZYSTYWANIA OZE

### Energia słoneczna

Generacja energii elektrycznej wytwarzanej w ogniwach fotowoltaicznych ma charakter losowy, zależny od warunków metrologicznych. Elektrownie powinny więc współpracować z magazynami energii, co znacznie podraża koszt uzyskiwanej energii (tab. 2.).

**Tabela 2 Jednostkowy koszt eksploatacyjny magazynowania energii**

Sposób magazynowania	Jednostkowy koszt eksploatacyjny, USD/MWh
Koło zamachowe	1000-14000
Akumulatory ołowiowo-kwasowe	200-400
Akumulatory przepływowe	150-1000
Magazynowanie w powietrzu sprężonym	2-120
Elektrownie szczytowo-pompowe	5-100
Nadprzewodnikowe zasobniki energii	1000-10000

Źródło: Opracowanie na podstawie [16].

Elektrownie słoneczne zajmują duże obszary (vide pkt. 2.1.).

Ogniwa fotowoltaiczne wykonywane są z materiałów półprzewodnikowych takich jak: monokryształy i polikryształy krzemu, związki kadmu, indu, galu, miedzi i selenu. Wymienione substancje występują w przyrodzie w ograniczonych ilościach i mogą mieć charakter strategiczny. Pozyskiwanie niezbędnych surowców może prowadzić do zanieczyszczenia środowiska.

Zużyte panele fotowoltaiczne, baterie i inne komponenty instalacji są kłopotliwymi odpadami. Skuteczne utylizowanie tych odpadów jest ważnym problemem, ponieważ nieprawidłowe postępowanie może prowadzić do znacznego zanieczyszczenia środowiska [17].

### Elektrownie wiatrowe

Działanie turbin wiatrowych jest zależne od warunków metrologicznych i ma charakter losowy. Efektywne wykorzystanie uzyskanej energii wymaga również współpracy elektrowni wiatrowych z drogimi magazynami energii.

Farmy wiatrowe zajmują duże obszary (vide pkt. 2.2.).

Budowa elektrowni wiatrowych wymaga dużych nakładów inwestycyjnych przy stosunkowo krótkiej trwałości

Turbiny wiatrowe są źródłem hałasu, emitują fale elektromagnetyczne [18] oraz zakłócają działanie radarów wykorzystywanych do celów wojskowych oraz lotnictwa cywilnego [19].

Wiatraki stanowią bezpośrednie zagrożenie dla ptaków i nietoperzy oraz pośrednie zagrożenie dla istot żywych ze względu na wywoływanie drgań.

Najtrudniejszymi do recyklingu elementami turbin wiatrowych są łopaty. Stanowią one od 10 do 20% masy turbin. Ze względu na materiały, z których są one wykonywane, łopaty wymagają szczególnie troskliwej utylizacji [20].

### **Wykorzystanie biomasy**

Wykorzystanie biomasy do produkcji energii elektrycznej wiąże się z koniecznością przeprowadzenia skomplikowanego procesu jej przygotowania (w tym suszenia). Ze względu na niższą wartość opałową biomomasy, przy jej spalaniu i współspalaniu, w kotłach energetycznych uzyskuje się niższą sprawność w porównaniu z stosowaniem paliw nieodnawialnych. W efekcie, wspomnianego spalania, powstają popioły lotne i żużle zawierające krzemiany, chlorki i węglany [21]. Powyższe związki mogą stanowić problem eksploatacyjny (powodować korozję i/lub zanieczyszczenie powierzchni grzewczych kotłów) oraz problem środowiskowy. Ponadto, w emitowanych spalinach, występują większe udziały tlenków azotu, dioksan i furanów.

Prowadzenie upraw energetycznych odbywa się często kosztem obszarów, które mogą być wykorzystane do produkcji żywności. Uprawy energetyczne powodują wyjaławianie gruntów.

Biogazownie dostarczają, na ogół, paliwo do elektrowni przydomowych o małej mocy.

### **Elektrownie wodne**

Energetyka hydrologiczna powoduje [22]: niszczenie istniejących naturalnych cieków wodnych, zaburzenie równowagi rzek podziemnych, zanieczyszczenie wód podziemnych, niszczenie flory, niszczenie fauny przez likwidację naturalnych siedlisk zwierząt wodnych, uniemożliwia rybom migrację w górę rzek, występowanie lokalnych susz, pogłębianie erozji rzek, zamulanie zbiorników oraz zwiększenie emisji metanu z zalanych terenów.

Budowa elektrowni i zasobników wodnych wiąże się z dużymi kosztami. Często wymaga przesiedlenia ludności i zalania obszernych terenów.

### **KRAJOWE BEZPIECZEŃSTWO ELEKTROENERGETYCZNE**

Bezpieczeństwo, utożsamiane z niezawodnością krajowego systemu elektroenergetycznego, polega na dostarczeniu odbiorcom energii elektrycznej w ilości i jakości odpowiadających lokalnemu i chwilowemu zapotrzebowaniu.

Zapotrzebowanie zależy od pory dnia i roku, od charakteru dnia (świętecznego, powszechnego), od struktury zapotrzebowania (przemysłowej, komunalno-bytowej) itp.

Niezawodność dostarczania energii, z kolei, jest zależna od sumarycznej mocy i rodzaju zainstalowanych źródeł energii, ich stabilności i przewidywalności produkcji, ich stanu technicznego oraz stanu technicznego sieci przesyłowej.

Ostatecznie prowadzi to do wniosku, że bezpieczeństwo elektroenergetyczne kraju zależy od realizowanej strategii miksu elektroenergetycznego. Szczególnie dyskusyjne, pod tym względem, jest pozyskiwanie energii elektrycznej z źródeł działających w sposób losowy, przy równocześnie, niepewnym stanie technicznym sieci przesyłowej oraz wyeksploatowanych elektrowniach

zasilanych ze źródeł nieodnawialnych tzn. węglem i/lub gazem ziemnym oraz braku powszechnych i rozproszonych układów magazynowania energii.

W Polsce, opracowano wiele scenariuszy produkcji energii elektrycznej do 2040 r. Do najbardziej popularnych należą scenariusze [23, 24]:

**węglowy** – zakładający produkcję z wykorzystaniem w 67 % źródeł nieodnawialnych oraz brak energetyki jądrowej, przy koszcie energii wynoszącym 740 zł/MWh,;

**źródeł odnawialnych (OZE)** – przewidujący wykorzystanie energii nieodnawialnej tylko w 18 % oraz brak energetyki jądrowej, przy koszcie 251 zł/MWh,

**polskiej polityki energetycznej (PEP-2040)** – według którego, udział energii pochodzącej z źródeł nieodnawialnych będzie wynosił około 49%, przy 22% udziale energii jądrowej i koszcie 381 zł/MWh.

W celu określenia niezawodności systemu wyznacza się szereg wskaźników. Do najważniejszych należy parametr LOLE (Loss of Load Expectation) – oczekiwany sumaryczny czas trwania deficytów mocy w określonym roku. Według analiz opisanych w [6], dla scenariusza zbliżonego do (PEP-2040), powyższy wskaźnik w latach 2025, 2030, 2035 oraz 2040 będzie wynosił odpowiednio: 22, 1040, 4600 oraz 6440 godzin. Z podanych wartości, wynika istotny wpływ wykorzystywania OZE na bezpieczeństwo systemu elektroenergetycznego. Według [25] znacznie korzystniejszym scenariuszem, ze względu na niezawodność systemu, byłby, droższy w realizacji, scenariusz węglowy.

## LITERATURA

- [1] [https://maat4.pl/dlaczego-warto-wybrać-panele – fotowoltaiczne-o-zwiekszonej-mocy/](https://maat4.pl/dlaczego-warto-wybrać-panele-–-fotowoltaiczne-o-zwiekszonej-mocy/) [grudzień 2023].
- [2] <https://akademia-fotowoltaiki.pl/wydajnosć-paneli-fotowoltaicznych.> [grudzień 2023].
- [3] <https://zielona.interia.pl/ekotechnologie/energetyka/news/najwieksze-farmy-fotowoltaiczne-na-swiecie-i-ich-moc.> [grudzień 2023].
- [4] <https://www.teraz-srodowisko.pl>aktualnosci>lokalizacja.> [grudzień 2023].
- [5] <https://www.gramzielone.pl/energia-wiatrowa/104354/na-rynek-wchodza-ladowe-turbiny-wiatrowe-o-rekordowej-mocy/> [grudzień 2023].
- [6] <https://pl.wikipedia.org/wiki/Elektrownia-wiatrowa.> [grudzień 2023].
- [7] <https://globenergia.pl/ile-metrow-od-wiatraka-mozna-wybudowac-dom-to-nie-takie-oczywiste/> [grudzień 2023]
- [8] Mirowski T., Mokrzycki E., Uliasz-Bocheńczyk A.: Energetyczne wykorzystanie biomasy. Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków 2018, <https://mie-pan-krakow.pl.>site>biomasa-2018> [grudzień 2023].
- [9] <https://enered.pl/wiedza/biomasa-w-polsce-wykorzystanie-rola/>[grudzień 2023].
- [10] Postrzednik S.: wartość opałowa jako parametr przydatności energetycznej biomasy, <https://cire.pl>pliki>postrzednik> [grudzień 2023]
- [11] <https://www.odnawialne-firmy.pl/wiadomosci,pokaz/94.biomasa-definicja-i-wartosc-opalowa> [grudzień 2023].
- [12] Stankiewicz D.: Możliwości wykorzystania surowców rolniczych do produkcji energii. Studia BAS, nr 1. 2010. <https://depot.ceon.pl>bitstream.handle> [grudzień 2023].

- [13] Popczyk J.: Rynek i innowacyjność-dwa współczesne filary zarządzania bezpieczeństwem energetycznym. Klaster 3×20. Konferencja „Stabilizacja bezpieczeństwa energetycznego Polski w okresie 2008-2020. Warszawa 2008.
- [14] [www.uwm.edu.pl/kolektory/energia-wodna](http://www.uwm.edu.pl/kolektory/energia-wodna) [grudzień 2023].
- [15] Malko J., Wojciechowski H.: Magazynowanie energii-nowe technologie. Nowa Energia, nr 2-3, 2015.
- [16] <https://zielonestrefy.pl/zielone-strefy/efektywnosc-energetyczna/magazynowanie-energii/> [grudzień 2023].
- [17] <https://fundacjaautopia.pl/odnawialne-zrodla-energii-co-to-i-po-co/> [grudzień 2023].
- [18] <https://kwant-lab.pl/wplyw-pola-magnetycznego> [grudzień 2023].
- [19] <https://www.wnp.pl/energetyka/japonia-turbiny-prod> [grudzień 2023].
- [20] <https://www.cire.pl/opinie/155372-lopoty-turbin-wiatrowych-najtrudniejsze-do-recyklingu> [grudzień 2023].
- [21] <https://ecn.kielce.pl/index.php/oferta.ecn-on-line> [grudzień 2023].
- [22] <https://www.esoleo.pl/jakie-wady-i-zalety-ma-energia-wodna> [grudzień 2023].
- [23] Koziół J.: Wybrane aspekty wykorzystania energii z źródeł odnawialnych do produkcji energii elektrycznej. Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji Wydawnictwo STE GROUP, (2024), (w druku)
- [24] <https://bizblog.spiedrswb.pl/wegiel-miks-energetyczny-pep-2040> [grudzień 2023].
- [25] Rusin A., Wojacek A.: Prognozy zmian w strukturze źródeł mocy w krajowym systemie energetycznym do roku 2035 i ich wpływ na niezawodność dostaw energii, Zebranie NOT Gliwice.

### **Problems related to the use of renewable sources to produce electricity**

**Abstract:** Technical conditions for the use of solar, wind, water and biological energy for the production of electricity were determined. Ways to eliminate excesses and shortages of energy from random renewable sources, such as energy storage, were indicated. power plant systems and by prosumer energy. The negative effects of the use of individual renewable energy sources were discussed. Attention was paid to the impact of electricity mix scenarios on national energy security.

**Keywords:** renewable energy sources. technical conditions and negative effects of use, energy storage, energy security

#### **Joachim Koziół**

Emerytowany profesor  
Politechniki Śląskiej i Uniwersytetu Zielonogórskiego  
ul. Sobieskiego 9/1, 41-800 Zabrze, Polska  
tel. +48 506 500 638  
e-mail: [kojo643@interia.pl](mailto:kojo643@interia.pl)